



⑪



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪ CH 686 332G A3

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>: G 04 C 010/00  
H 02 P 009/00

Demande de brevet déposée pour la Suisse et le Liechtenstein  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

## ⑫ FASCICULE DE LA DEMANDE A3

⑲ Numéro de la demande: 01266/94

⑳ Date du dépôt: 25.04.1994

㉔ Demande publiée le: 15.03.1996

㉔ Fascicule de la demande  
publiée le: 15.03.1996

㉗ Titulaire(s):  
Asulab S.A., 6, faubourg du Lac,  
2501 Biel/Bienne (CH)

㉘ Inventeur(s):  
Wiget, Fridolin, Neuchâtel (CH)

㉚ Mandataire:  
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets S.A.,  
Passage Max-Meuron 6/8, 2001 Neuchâtel (CH)

⑤⑥ Rapport de recherche au verso

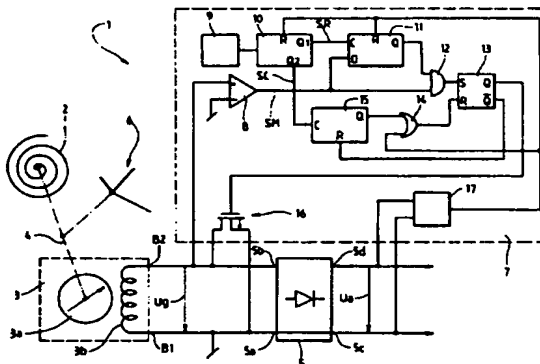
## ⑥④ Pièce d'horlogerie mue par une source d'énergie mécanique et régulée par un circuit électronique.

⑥⑦ Les aiguilles (6) de la pièce d'horlogerie (1) sont reliées à un ressort de barillet (2) qui entraîne également le rotor (3a) d'un générateur (3) à une vitesse supérieure à une vitesse de consigne Vc.

L'énergie électrique fournie par le générateur (3) alimente un circuit d'asservissement (7) comportant un transistor (16) qui court-circuite la bobine (3b) du générateur (3) et freine ainsi le rotor (3a) jusqu'à une vitesse inférieure à la vitesse de consigne Vc lorsqu'un comparateur (11) indique que ce rotor (3a) est en avance par rapport à sa position angulaire théorique.

Un circuit de temporisation (12 à 15) limite la durée du freinage du rotor (3a) à une fraction de la période de la tension alternative (Ug) fournie par le générateur (3).

Cette disposition garantit que le circuit d'asservissement (7) est alimenté convenablement même si l'avance du rotor (3a) est importante.



## RAPPORT DE RECHERCHE

CH 126694

## Description

La présente invention a pour objet une pièce d'horlogerie comportant:

- un générateur d'énergie électrique comprenant un rotor et des moyens pour fournir ladite énergie électrique en réponse à une rotation dudit rotor;
- une source d'énergie mécanique couplée mécaniquement audit rotor pour provoquer ladite rotation dudit rotor à une vitesse supérieure à une vitesse de consigne déterminée; et
- des moyens d'asservissement de la vitesse de rotation dudit rotor à ladite vitesse de consigne alimentés par ladite énergie électrique et comportant:
- des moyens de mesure couplés audit générateur pour produire une pluralité d'impulsions de mesure, chacune desdites impulsions de mesure étant produite en réponse au passage dudit rotor par une position angulaire déterminée;
- des moyens de référence pour produire une pluralité d'impulsions de référence périodiques ayant une période égale à celle desdites impulsions de mesure lorsque ledit rotor tourne à ladite vitesse de consigne;
- des moyens de comparaison pour fournir un signal de comparaison représentatif de la différence entre, d'une part, un premier nombre qui est le nombre desdites impulsions de référence produites depuis un instant initial déterminé et, d'autre part, un deuxième nombre qui est le nombre desdites impulsions de mesure produites depuis ledit instant initial, ledit signal de comparaison ayant un premier et un deuxième état selon que ledit premier nombre est inférieur ou, respectivement, supérieur audit deuxième nombre; et
- des moyens de freinage répondant à un signal de commande pour appliquer audit rotor un couple de freinage imposant audit rotor une vitesse de rotation inférieure à ladite vitesse de consigne.

Une pièce d'horlogerie ayant ces caractéristiques, qui est décrite par exemple dans le brevet US-A 3 937 001, a la même précision qu'une pièce d'horlogerie électronique classique grâce au fait que les impulsions de référence, dont la fréquence détermine la vitesse de rotation du rotor du générateur et donc celle des aiguilles d'affichage de l'heure courante, sont produites à partir d'un signal fourni par un oscillateur à quartz.

En outre, cette pièce d'horlogerie ne comporte ni pile ni accumulateur puisque l'alimentation de ses circuits électroniques est assurée par l'énergie électrique fournie par son générateur dont le rotor est relié à sa source d'énergie mécanique, qui est constituée par un ressort de barillet semblable à celui qui est utilisé dans les pièces d'horlogerie mécaniques classiques.

Ceci représente un net avantage par rapport à une pièce d'horlogerie électronique classique dont les circuits sont alimentés par une pile ou un accumulateur dont la durée de vie est limitée.

Dans la pièce d'horlogerie décrite dans le brevet USA 3 937 001 mentionné ci-dessus, les moyens de freinage du rotor du générateur sont constitués par une résistance branchée en série avec un interrupteur électronique, l'ensemble formé par cette ré-

sistance et cet interrupteur étant branché en parallèle avec la bobine du générateur.

En outre, cet interrupteur est commandé directement par le signal de comparaison de manière à être fermé en permanence lorsque ce dernier est dans son premier état, c'est-à-dire tant que le rotor du générateur est en avance par rapport à la position qu'il occuperait s'il avait toujours tourné à sa vitesse de consigne.

Il peut donc arriver que ce rotor soit freiné sans interruption pendant un temps assez long, notamment s'il a été auparavant fortement accéléré par un choc angulaire.

Les circuits électroniques de la pièce d'horlogerie sont alimentés par une tension continue fournie par un circuit redresseur de la tension alternative produite par le générateur.

La valeur de cette tension continue, qui dépend de la valeur de cette tension alternative, doit évidemment être en permanence suffisante pour que ces circuits électroniques fonctionnent correctement.

Or, lorsque le rotor du générateur est freiné, la tension alternative qu'il produit est d'autant plus basse que la valeur de la résistance de freinage est faible, cette tension alternative étant évidemment nulle si la valeur de la résistance de freinage est elle-même nulle.

Si le rotor du générateur n'était freiné que pendant des temps relativement courts, les circuits électroniques de la pièce d'horlogerie pourraient être alimentés, pendant ces temps de freinage, par l'énergie électrique accumulée dans le ou les condensateurs que comporte généralement le circuit redresseur alimentant ces circuits, et ceci même si la valeur de la résistance de freinage était nulle.

Mais, comme on l'a vu ci-dessus, le rotor du générateur peut être freiné sans interruption pendant un temps assez long. Il est donc pratiquement exclu de choisir pour la résistance de freinage une valeur nulle, car le condensateur du circuit redresseur devrait alors avoir une capacité très élevée et devrait donc être assez encombrant et cher. Il ne serait d'ailleurs pas possible de déterminer avec certitude la capacité que ce condensateur devrait avoir puisque le temps maximal pendant lequel le rotor du générateur peut être freiné ne peut pas être prévu à l'avance.

Lorsque la résistance de freinage est branchée en parallèle avec la bobine du générateur, la tension alternative produite par cette bobine est diminuée d'une part à cause de la diminution de la vitesse de rotation qui résulte de ce branchement et, d'autre part, à cause de la chute de tension produite dans la bobine du générateur par le courant absorbé par la résistance de freinage.

Il en résulte que, pour que la tension d'alimentation des circuits électroniques de la pièce d'horlogerie soit toujours suffisante, il ne suffit pas que la valeur de la résistance de freinage ne soit pas nulle, comme on l'a vu ci-dessus, mais il faut en outre que cette valeur soit relativement élevée.

Cependant, le couple de freinage appliqué au rotor du générateur est d'autant plus élevé que la valeur de la résistance de freinage est faible, ce cou-

ple de freinage étant maximal lorsque cette résistance de freinage a une valeur nulle.

C couple de freinage doit évidemment imposer au rotor du générateur une vitesse de rotation inférieure à sa vitesse de consigne quel que soit le couple moteur fourni par le ressort de barillet.

Pour que la valeur maximale de ce couple moteur puisse être aussi élevée que possible, ce qui influence favorablement l'autonomie de la pièce d'horlogerie, c'est-à-dire le temps pendant lequel elle peut fonctionner sans que son ressort de barillet doive être remonté, il faut donc que le couple de freinage soit également élevé, ce qui implique que la résistance de freinage ait une valeur faible. De préférence, cette résistance devrait avoir une valeur nulle.

La résistance de freinage du rotor doit donc remplir deux conditions contradictoires. D'une part, elle doit être suffisamment élevée, et en tout cas pas nulle, pour que la tension d'alimentation des circuits électroniques soit suffisante en toutes circonstances. D'autre part, elle doit être assez faible, et de préférence nulle, pour que le couple de freinage soit élevé et que la vitesse de rotation du rotor, lorsqu'il est freiné, soit inférieure à sa vitesse de consigne même lorsque le couple moteur fourni par la source d'énergie mécanique est maximal.

Pour que la première condition ci-dessus puisse être remplie plus facilement, on peut théoriquement augmenter le nombre de spires de la bobine du générateur. Mais une bobine ayant un grand nombre de spires est volumineuse et peut être difficile à loger dans l'espace restreint disponible dans une pièce d'horlogerie de petit volume telle qu'une montre bracelet. Ou alors, si on choisit de réaliser cette bobine avec un fil de diamètre suffisamment faible pour qu'elle ne soit pas trop encombrante, sa fabrication devient difficile et son prix de revient augmente.

Il faut aussi tenir compte du fait qu'une bobine ayant un grand nombre de spires d'un fil de petit diamètre a une résistance interne élevée qui, d'une part, s'ajoute à la résistance de freinage et diminue le couple de freinage du rotor et, d'autre part, provoque une diminution de la tension alternative produite par le générateur lorsqu'elle est parcourue par le courant fourni par ce dernier.

On peut aussi, théoriquement, utiliser un circuit redresseur multiplicateur de tension pour redresser la tension alternative produite par la bobine du générateur. Mais un tel circuit comporte un nombre assez élevé de condensateurs, qui sont des éléments encombrants, et de diodes dont la tension de seuil n'est pas sensiblement inférieure à la tension nécessaire à l'alimentation des circuits électroniques de la pièce d'horlogerie. Il en découle que, en pratique, il n'est possible d'utiliser qu'un redresseur simple ou, tout au plus, un redresseur doubleur de tension pour redresser la tension alternative produite par le générateur.

Pour que la deuxième condition mentionnée ci-dessus soit plus facilement remplie, on peut évidemment diminuer la valeur maximale du couple moteur fourni par le ressort de barillet entraînant le rotor du générateur. Mais alors l'autonomie de la

pièce d'horlogerie est diminuée, ce qui n'est évidemment pas souhaitable.

Un but de la présente invention est de proposer une pièce d'horlogerie du même genre que celle qui est décrite dans le brevet US-A 3 937 001 déjà mentionné mais qui ne présente pas les inconvénients de celle-ci, c'est-à-dire une pièce d'horlogerie dans laquelle la valeur de la résistance de freinage du rotor peut être très faible, voire même nulle, sans qu'il soit nécessaire de donner à la bobine du générateur un nombre de spires élevé et sans qu'il y ait un risque de voir, en quelque circonstance que ce soit, la tension d'alimentation des circuits électroniques devenir insuffisante pour que ces derniers fonctionnent correctement. En outre, cette valeur très faible, ou même nulle, de cette résistance de freinage permet de choisir le ressort de barillet entraînant le rotor du générateur de manière que son couple maximal soit élevé et que l'autonomie de la pièce d'horlogerie soit donc plus élevée, toutes autres choses étant égales, que celle de la pièce d'horlogerie connue mentionnée ci-dessus.

Ce but est atteint par la pièce d'horlogerie dont les caractéristiques sont énumérées dans la revendication 1.

D'autres buts et avantages de la présente invention seront rendus évidents par la description qui va suivre et qui sera faite à l'aide du dessin annexé dans lequel:

— la fig. 1, unique, représente schématiquement une forme d'exécution de la pièce d'horlogerie selon la présente invention.

Dans sa forme d'exécution représentée schématiquement et à titre d'exemple non limitatif à la fig. 1, la pièce d'horlogerie selon la présente invention, qui est désignée par la référence générale 1, comporte une source d'énergie mécanique constituée par un ressort de barillet. Ce ressort de barillet, désigné par la référence 2, n'a été représenté que très schématiquement car il peut être du même genre que n'importe lequel des ressorts de barillet bien connus qui sont utilisés dans les pièces d'horlogerie mécaniques classiques.

Ce ressort de barillet 2 est couplé à un mécanisme de remontage manuel ou automatique qui n'a pas été représenté car il peut être semblable à n'importe lequel des mécanismes de remontage bien connus qui sont également utilisés dans les pièces d'horlogerie mécaniques classiques.

Le ressort de barillet 2 est couplé mécaniquement au rotor 3a d'un générateur d'énergie électrique 3 par l'intermédiaire d'un train d'engrenages 4 symbolisé par un trait mixte. Ce générateur 3 comporte encore une bobine 3b, et il ne sera pas décrit en détail car il peut être réalisé de diverses manières bien connues des spécialistes.

On mentionnera simplement que dans le présent exemple, le rotor 3a comporte un aimant bipolaire qui a été simplement symbolisé par une flèche représentant son axe d'aimantation.

On mentionnera également que la bobine 3b est couplée magnétiquement à l'aimant permanent du rotor 3a, par exemple par l'intermédiaire d'un stator qui n'a pas été représenté, de manière à produire entre ses bornes B1 et B2, en réponse à toute ro-

tation du rotor 3a, une tension alternative  $U_g$  dont la période est égale à la période de rotation du rotor 3a, c'est-à-dire au temps mis par ce rotor 3a pour faire un tour. Les bornes B1 et B2 de la bobine 3b constituent évidemment les bornes de sortie du générateur 3.

La pièce d'horlogerie 1 comporte encore un circuit redresseur 5 dont les entrées 5a et 5b sont respectivement reliées aux bornes B1 et B2 du générateur 3 et dont les sorties 5c et 5d fournissent une tension  $U_a$  au moins sensiblement continue en réponse à la tension alternative  $U_g$  produit par le générateur 3. Cette tension  $U_a$  est destinée à alimenter les divers circuits électroniques qui seront décrits plus loin par l'intermédiaires de conducteurs qui n'ont pas été représentés.

Le redresseur 5 ne sera pas décrit en détail car il peut être semblable à n'importe lequel des redresseurs bien connus des spécialistes. On mentionnera simplement que ce redresseur 5 comporte, de manière classique, un condensateur de filtrage qui est branché entre ses bornes de sortie 5c et 5d et qui n'a pas été représenté.

Dans le présent exemple, les bornes 5a et 5c du redresseur 5 sont reliées entre elles ainsi qu'à la borne B1 du générateur 3. En outre, le potentiel de ces trois bornes 5a, 5c et B1 a été choisi arbitrairement comme potentiel de référence, ou masse, et toutes les tensions qui seront mentionnées dans la suite de cette description seront des tensions mesurées par rapport à ce potentiel de référence.

Avec cette convention, la tension alternative  $U_g$  est donc symétrique par rapport à ce potentiel de référence lorsque le rotor 3a tourne à vitesse constante.

En outre, dans la suite de cette description, les divers signaux seront décrits comme étant à l'état logique «0» ou à l'état logique «1» selon que le potentiel des points où ils sont mesurés est sensiblement égal au potentiel de référence ou, respectivement, au potentiel de la borne 5d du redresseur 5.

La pièce d'horlogerie 1 comporte encore des moyens d'affichage de l'heure courante qui sont constitués dans cet exemple par des aiguilles classiques, désignées par la référence 6, mais qui peuvent aussi être constitués par d'autres éléments bien connus tels que des disques, des tambours ou autres. Elle peut également comporter un ou plusieurs dispositifs d'affichage annexes tels qu'un dispositif de calendrier, de phase de lune ou autre. Un tel dispositif annexe n'a pas été représenté.

Les aiguilles 6 et, le cas échéant, le ou les dispositifs annexes, sont reliés mécaniquement au ressort de barillet 2 et au rotor 3a du générateur 3 par l'intermédiaire d'un train d'engrenages dont une partie au moins peut être commune avec une partie du train d'engrenages 4. Dans la fig. 1, ce train d'engrenages relié aux aiguilles 6 n'a pas été référencé séparément, et il est également symbolisé par un trait mixte.

La pièce d'horlogerie 1 comporte aussi un mécanisme de mise à l'heure des aiguilles 6 et, le cas échéant, de correction du ou des dispositifs annexes, qui n'a pas été représenté car il peut être semblable à n'importe lequel des divers mécanis-

mes de ce genre qui sont bien connus des spécialistes.

La vitesse de rotation des aiguilles 6, qui doit bien entendu avoir une valeur moyenne constante et bien déterminée, est contrôlée par un circuit 7 d'asservissement de la vitesse de rotation du rotor 3a à une vitesse de consigne qui sera appelée  $V_c$  dans la suite de cette description.

Les éléments du circuit d'asservissement 7 qui déterminent la vitesse de rotation du rotor 3a et qui seront décrits plus loin, ainsi que le train d'engrenages 4, sont agencés de manière que les aiguilles 6 tournent à leurs vitesses normales lorsque le rotor 3a tourne à la vitesse de consigne  $V_c$ . On admettra que, dans le présent exemple, cette vitesse de consigne  $V_c$  a été fixée à 4 tours par seconde.

En outre, et pour une raison qui sera rendue évidente par la suite de cette description, les caractéristiques du ressort de barillet 2 et des divers éléments qu'il entraîne, ainsi que les caractéristiques du générateur 3, sont choisies de manière que la vitesse moyenne de rotation du rotor 3a soit supérieure à la vitesse de consigne  $V_c$  tant que le ressort de barillet 2 n'est pas presque complètement désarmé, à condition que la bobine 3b ne soit pas court-circuitée. De même, ces caractéristiques sont choisies de manière que cette vitesse moyenne de rotation soit inférieure à cette vitesse de consigne  $V_c$  si la bobine 3b est court-circuitée, dans des circonstances qui seront décrites plus loin, et ceci même lorsque le ressort de barillet est complètement remonté et que le couple moteur qu'il fournit a donc sa valeur maximale.

Le circuit d'asservissement 7 mentionné ci-dessus comporte un comparateur 8 dont l'entrée directe est reliée à la borne B2 du générateur 3 et dont l'entrée inverse est reliée au potentiel de référence, de sorte que le signal produit par sa sortie, qui sera appelé signal SM dans la suite de cette description, est alternativement à l'état «0» et à l'état «1» selon que la tension  $U_g$  fournie par le générateur 3 est négative ou positive.

La période du signal SM est évidemment égale à celle de la tension  $U_g$  de sorte que, notamment, cette période du signal SM est de 250 millisecondes lorsque le rotor 3a du générateur 3 tourne à sa vitesse de consigne  $V_c$  qui est de 4 tours par seconde dans le présent exemple.

En outre, le signal SM passe de son état «0» à son état «1» chaque fois que le rotor 3a du générateur 3 passe par une position angulaire déterminée, qui est celle à laquelle la tension  $U_g$  passe par sa valeur nulle en croissant.

Le signal SM est donc à la fois un signal de mesure de la vitesse de rotation du rotor 3a et un signal de détection du passage de ce rotor 3a par la position angulaire déterminée définie ci-dessus.

Le circuit d'asservissement 7 comporte également une source d'un signal de référence SR, constituée, dans cet exemple, par un oscillateur 9, qui peut être un oscillateur à quartz, et un circuit diviseur de fréquence 10 ayant une sortie Q1 qui fournit le signal SR en réponse au signal produit par l'oscillateur 9.

Cet oscillateur 9 et ce diviseur de fréquence 10

ne seront pas décrits en détail car ils peuvent être réalisés de diverses manières bien connues de l'homme du métier. On mentionnera simplement que cet oscillateur 9 et ce diviseur de fréquence 10 sont agencés de manière que la période du signal SR soit égale à celle du signal SM lorsque le rotor 3a du générateur 3 tourne à sa vitesse de consigne Vc, c'est-à-dire 250 millisecondes dans le présent exemple.

Ce résultat peut être obtenu, toujours par exemple, en utilisant pour l'oscillateur 9 un oscillateur semblable à celui qui est utilisé dans la grande majorité des pièces d'horlogerie électroniques et qui fournit un signal ayant une fréquence de 32.768 Hz, et en réalisant le diviseur de fréquence 10 sous la forme bien connue d'une série de 13 bascules bistables souvent appelées flip-flops.

On mentionnera aussi que le diviseur de fréquence 10 comporte une deuxième sortie, désignée par Q2, fournissant un signal SC ayant une période beaucoup plus courte, par exemple de l'ordre de cent fois plus courte, que celle du signal SR, et dont l'utilité sera rendue évidente plus loin. Dans le présent exemple, ce signal SC peut être fourni par la sortie de la sixième bascule bistable du diviseur de fréquence 10 et avoir ainsi une période égale à 1,95 milliseconde environ.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un compteur réversible, ou compteur-décompteur, qui est désigné par la référence 11. L'entrée de comptage C de ce compteur 11 est reliée à la sortie Q du diviseur de fréquence 10 et reçoit donc le signal SR, et son entrée de décomptage D est reliée à la sortie du comparateur 8 et reçoit donc le signal SM.

Ce compteur réversible 11 ne sera pas décrit en détail car il peut être réalisé de diverses manières bien connues. On précisera simplement qu'il est sensible aux flancs montants des impulsions qu'il reçoit, c'est-à-dire aux passages de l'état logique «0» à l'état logique «1» des signaux SR et SM. En d'autres termes, le contenu de ce compteur 11, c'est-à-dire le nombre binaire formé par les états logiques «0» ou «1» des sorties directes des diverses bascules bistables qui le forment, est augmenté d'une unité à chaque flanc montant des impulsions du signal SR et diminué d'une unité à chaque flanc montant des impulsions du signal SM. Ce compteur 11 comporte en outre des moyens bien connus qui permettent de lever toute ambiguïté due à une quelconque superposition dans le temps des impulsions qu'il reçoit sur ses entrées C et D.

De plus, le compteur 11 comporte une entrée R de remise à zéro et il est agencé de manière que son contenu est maintenu à la valeur zéro tant que cette entrée R est à l'état logique «1».

On rappellera encore que, si le compteur 11 est constitué de n bascules bistables, son contenu peut prendre n'importe quelle valeur supérieure ou égale à zéro et inférieure ou égale à  $2^n - 1$ .

En outre, le fonctionnement du compteur 11 est cyclique, c'est-à-dire notamment que, lorsque son contenu est égal à zéro, ce contenu prend la valeur  $2^n - 1$  en réponse à une impulsion appliquée sur son entrée de décomptage D.

Par convention, et pour une raison qui sera r n due évidente plus loin, on appellera valeurs positives du contenu du compteur 11 celles qui sont supérieures ou égales à zéro et inférieures ou égales à  $2^n - 1$ , et valeurs négatives de ce contenu celles qui sont supérieures à  $2^n - 1$  et inférieures ou égales à  $2^n - 1$ . L'homme du métier verra sans difficulté que, avec cette convention, la sortie Q du compteur 11, qui est constituée de manière classique par la sortie directe de la dernière de ses bascules bistables, et à l'état logique «0» lorsque le contenu du compteur 11 est positif et à l'état logique «1» lorsque ce contenu est négatif.

La sortie Q du compteur réversible 11 est reliée à une première entrée d'une porte ET 12 dont la deuxième entrée est reliée à la sortie du comparateur 8.

La sortie de cette porte 12 est reliée à l'entrée S d'une bascule bistable 13 de type R-S dont l'entrée R est reliée à la sortie d'une porte OU 14.

Comme le compteur réversible 11 décrit ci-dessus, la bascule bistable 13 est sensible aux flancs montants des impulsions qu'elle reçoit sur ses entrées S et R. En d'autres termes, la sortie directe Q et la sortie inverse  $\bar{Q}$  de cette bascule 13 prennent respectivement l'état logique «1» et l'état logique «0» en réponse à chaque flanc montant du signal appliqué à son entrée S, et prennent respectivement l'état logique «0» et l'état logique «1» en réponse à chaque flanc montant du signal appliqué à son entrée R.

Une première entrée de la porte OU 14 est reliée à la sortie Q d'un compteur simple, non réversible 15.

Ce compteur 15 est constitué dans cet exemple de cinq bascules bistables branchées en série de manière classique de sorte que sa sortie Q, qui est la sortie directe de sa cinquième bascule, passe de l'état «0» à l'état «1» lorsque son contenu passe de la valeur quinze à la valeur seize.

L'entrée de comptage C du compteur 15 est reliée à la sortie Q2 du diviseur de fréquence 10 et reçoit donc le signal SC, et son entrée R de remise à zéro est reliée à la sortie inverse  $\bar{Q}$  de la bascule bistable 13.

A nouveau comme le compteur réversible 11, le compteur 15 est sensible aux flancs montants du signal appliqué à son entrée de comptage C, et son contenu est maintenu à la valeur zéro tant que son entrée R est à l'état logique «1».

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore des moyens de freinage électrique du rotor 3a du générateur 3, qui sont constitués dans le présent exemple par un transistor MOS de type n, désigné par la référence 16, dont la source et le drain sont respectivement reliés aux bornes B1 et B2 du générateur 3, et dont la grille est reliée à la sortie directe Q de la bascule bistable 13.

L'homme du métier verra facilement que le transistor 16 est bloqué ou conducteur selon que sa grille est à l'état logique «0» ou «1» puisqu'il est de type n et que sa source est au potentiel de référence.

Le circuit d'asservissement 7 comporte encore un circuit d'initialisation 17 ayant deux entrées re-

liées respectivement aux bornes 5c et 5d du redresseur 5 et une sortie reliée d'une part aux entrées de remise à zéro R du diviseur de fréquence 10 et du compteur réversible 11 et, d'autre part, à la deuxième entrée de la porte OU 14.

Ce circuit d'initialisation 17 ne sera pas décrit en détail car il peut être réalisé de diverses manières bien connues. On mentionnera simplement qu'il est agencé de manière que sa sortie produise une courte impulsion d'initialisation à l'instant où la tension  $U_a$  atteint en croissant une valeur de seuil déterminée, qui est égale ou légèrement supérieure à la valeur pour laquelle les divers autres composants du circuit d'asservissement 7 commencent à fonctionner correctement. Cet instant sera appelé instant d'initialisation  $t_0$  dans la suite de cette description.

Lorsque le ressort de barillet 2 est complètement désarmé et que le rotor 3a du générateur 3 ne tourne pas, les tensions  $U_g$  et  $U_a$  sont évidemment nulles, et la pièce d'horlogerie 1 ne fonctionne pas.

Si le ressort de barillet 2 est alors remonté, il arrive un moment où le rotor 3a commence à tourner, et où les tensions  $U_g$  et  $U_a$  commencent à augmenter.

A l'instant  $t_0$  défini ci-dessus, l'impulsion produite par le circuit d'initialisation 17 provoque la remise à zéro du diviseur de fréquence 10 et du compteur réversible 11, de sorte que les sorties Q1 et Q2 du diviseur de fréquence 10 et la sortie Q du compteur réversible 11 sont mises dans l'état logique «0».

La même impulsion d'initialisation est appliquée à l'entrée R de la bascule bistable 13 par l'intermédiaire de la porte 14, de sorte que les sorties Q et Q de cette bascule 13 prennent respectivement l'état logique «0» et l'état logique «1».

L'état logique «0» de la sortie Q de la bascule 13 met le transistor 16 dans son état de blocage, de sorte que la bobine 3b du générateur 3 n'est pas court-circuitée et que la vitesse de rotation du rotor 3a peut atteindre et dépasser la vitesse de consigne  $V_c$ . En outre, l'état logique «1» de la sortie Q de la bascule 13 maintient le contenu du compteur 15 à zéro.

Le fonctionnement de la pièce d'horlogerie 1 après l'instant  $t_0$  ne sera décrit ci-après que dans ses grandes lignes car l'homme du métier n'aura aucune peine à reconstituer tous ses détails à l'aide des explications déjà données.

Dans cette description du fonctionnement de la pièce d'horlogerie 1, on appellera instant de référence  $t_r$  chacun des instants où le signal de référence SR passe de son état «0» à son état «1» et où le contenu du compteur 11 est donc augmenté d'une unité. De même, on appellera instant de mesure  $t_m$  chacun des instants où le signal de mesure SM passe également de son état «0» à son état «1» et où le contenu du compteur 11 est donc diminué d'une unité.

En outre, on appellera position angulaire théorique du rotor 3a la position angulaire qu'il devrait occuper, à chaque instant de référence  $t_r$ , si sa vitesse moyenne de rotation depuis l'instant  $t_0$  avait été égale à sa vitesse de consigne  $V_c$ .

On voit bien que le contenu du compteur réversi-

ble 11 est en permanence représentatif de la différence entre le nombre des impulsions du signal SR produites par le diviseur de fréquence 10 depuis l'instant  $t_0$  défini ci-dessus et le nombre des impulsions du signal SM produites par le comparateur 8, qui est le nombre des tours complets effectués par le rotor 3a du générateur 3, depuis le même instant  $t_0$ .

Ce contenu du compteur 11 est donc également représentatif en permanence du retard ou de l'avance du rotor 3a par rapport à sa position angulaire théorique, ce retard ou cette avance pouvant être, le cas échéant, de plusieurs tours.

Lorsque ce contenu du compteur 11 est positif juste après un des instants  $t_m$  définis ci-dessus, cela signifie que le rotor 3a est en retard par rapport à sa position angulaire théorique.

Dans un tel cas, la sortie Q du compteur réversible 11 est à l'état logique «0», de sorte que la sortie de la porte ET 12 reste à l'état «0» et que la bascule bistable 13 reste dans l'état où sa sortie Q est à l'état logique «0». Le transistor 16 reste bloqué, et la bobine 3b du générateur 3 n'étant pas court-circuitée, la vitesse de rotation du rotor 3a peut rester au, le cas échéant, tendre à devenir supérieure à la vitesse de consigne  $V_c$ , à condition bien entendu que le ressort de barillet 2 soit encore suffisamment armé.

Le retard du rotor 3a par rapport à sa position angulaire théorique tend donc à s'annuler, de même que le contenu du compteur réversible 11.

Lorsque le contenu du compteur réversible 11 est négatif juste après l'un des instants  $t_m$  définis ci-dessus, cela signifie que le rotor 3a est en avance par rapport à sa position angulaire théorique.

Dans un tel cas, la sortie Q du compteur 11 est à l'état logique «1». Le signal SM étant alors également à l'état «1», la bascule bistable 13 prend l'état où ses sorties Q et Q sont respectivement à l'état logique «1» et à l'état logique «0».

Il en résulte que le transistor 16 devient conducteur et court-circuite la bobine 3b du générateur 3. Le rotor 3a est donc freiné, et sa vitesse de rotation devient inférieure à la vitesse de consigne  $V_c$ .

Il en résulte également que, l'entrée R de remise à zéro du compteur 15 étant maintenant à l'état «0», le contenu de ce compteur 15 augmente d'une unité à chacune des impulsions du signal SC. Lorsque, dans le présent exemple, ce contenu passe de la valeur quinze à la valeur seize, soit environ 31, 25 millisecondes après que la bascule 13 a changé d'état, la sortie Q de ce compteur 15 passe à l'état logique «1».

La bascule 13 reprend alors l'état où ses sorties Q et Q sont respectivement à l'état logique «0» et à l'état logique «1».

Le transistor 16 est donc à nouveau bloqué, de sorte que le rotor 3a n'est plus freiné et que sa vitesse de rotation peut à nouveau augmenter.

Si, juste après l'instant  $t_m$  suivant, la sortie Q du compteur réversible 11 est encore à l'état logique «1», le processus qui vient d'être décrit se déroule à nouveau, et ceci jusqu'à ce que la vitesse moyenne du rotor 3a depuis l'instant  $t_0$ , qui diminue évidemment chaque fois que ce rotor 3a est freiné,

devienne inférieure ou égale à la vitesse de consigne  $V_c$ .

Lorsque cette situation est atteinte, la sortie Q du compteur réversible 11 prend l'état logique «0», et le rotor 3a n'est plus freiné.

On voit que, lorsqu'elle est mesurée sur un temps assez long, la vitesse moyenne du rotor 3a est égale à la vitesse de consigne  $V_c$ , et, si les aiguilles 6 ont été mises à l'heure à l'instant  $t_0$ , elles affichent en permanence l'heure exacte, avec une précision égale à celle de la fréquence du signal de référence SR.

On voit en outre que ce résultat est obtenu en ne freinant le rotor 3a, lorsqu'il est en avance par rapport à sa position angulaire théorique, que pendant des périodes de durée limitée, nettement inférieure au temps mis en moyenne par le rotor 3a pour faire un tour complet. Dans le présent exemple, cette durée des périodes de freinage, qui est déterminée par la fréquence du signal SC et par le nombre des bascules formant le compteur 15, est environ huit fois plus courte que la période de rotation moyenne du rotor 3a.

Pendant chacune des périodes de freinage du rotor 3a, la tension  $U_g$  produite par le générateur 3 est évidemment nulle puisque le transistor 16 est conducteur et court-circuite la bobine 3b.

Mais chacune de ces périodes de freinage commence à un instant où la tension  $U_g$  est de toutes façons nulle, et leur durée n'est qu'une fraction assez faible de la période de cette tension  $U_g$  comme on vient de le voir. Pendant ces périodes de freinage, la tension  $U_g$  n'aurait donc qu'une valeur relativement faible si la bobine 3b n'était pas court-circuitée, et le générateur 3 ne fournirait de toutes façons qu'une énergie très faible, voire même nulle, au redresseur 5. Par contre, en dehors de ces périodes de freinage, la tension  $U_g$  a sa valeur normale, de sorte que la quantité d'énergie électrique fournie par le générateur 3 n'est presque pas diminuée, voire même pas du tout, par le freinage du rotor 3a.

Il en résulte que le générateur 3 continue à fournir l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du circuit d'asservissement 7 même lorsque le rotor 3a est en avance par rapport à sa position angulaire théorique et qu'il est freiné comme cela a été décrit ci-dessus, indépendamment de l'importance de cette avance.

Les condensateurs de filtrage du redresseur 5 peuvent donc avoir des capacités relativement faibles, puisqu'il n'est pas nécessaire qu'ils assurent l'alimentation du circuit d'asservissement 7 pendant de longues périodes comme cela est le cas dans la pièce d'horlogerie connue décrite dans le brevet US-A 3 937 001 mentionné ci-dessus.

En outre, et pour les mêmes raisons, il est tout à fait possible, et même préférable, de réaliser les moyens de freinage du rotor 3a comme cela a été décrit ci-dessus, c'est-à-dire sans que ces moyens de freinage ne comportent une quelconque résistance semblable à celle qu'ils doivent obligatoirement comporter dans la pièce d'horlogerie décrite dans le brevet US-A 3 937 001.

Par rapport à cette dernière pièce d'horlogerie, la

suppression de cette résistance a comme avantage que le freinage du rotor 3a est plus efficace, ce qui permet d'augmenter le couple moteur maximal admissible pour le ressort de barillet 2 et donc d'augmenter l'autonomie de la pièce d'horlogerie 1.

L'homme du métier verra aisément que de nombreuses modifications peuvent être apportées à la pièce d'horlogerie qui vient d'être décrite sans que celle-ci ne sorte pour autant du cadre de la présente invention.

Ainsi, par exemple, le rotor du générateur d'une pièce d'horlogerie selon la présente invention peut comporter, à la place de l'aimant bipolaire du rotor 3a du générateur 3 décrit ci-dessus, soit un aimant permanent multipolaire, soit une pluralité d'aimants permanents bipolaires disposés à la périphérie d'un disque. Dans de tels cas, la tension alternative produite par la bobine de ce générateur a une période qui est égale au rapport entre la période de rotation du rotor et le nombre de paires de pôles de l'aimant multipolaire ou, respectivement, le nombre d'aimants bipolaires.

Il est également possible de produire le signal de mesure, c'est-à-dire le signal SM dans l'exemple de la fig. 1, de manière qu'il passe à l'état «1», pour une durée limitée, non seulement chaque fois que la tension alternative produite par le générateur de la pièce d'horlogerie passe par sa valeur nulle en croissant, mais également chaque fois que cette tension alternative passe par cette valeur nulle en décroissant.

Dans un tel cas, la période de ce signal de mesure est égale à la moitié de celle de la tension alternative produite par le générateur, et le rotor de ce générateur est freiné deux fois par période de cette tension alternative lorsqu'il est en avance par rapport à sa position angulaire théorique. Il peut alors être nécessaire de diminuer la durée des périodes de freinage de ce rotor pour éviter que l'énergie électrique fournie par le générateur ne devienne insuffisante pour alimenter convenablement les circuits électroniques de la pièce d'horlogerie.

Dans tous les cas qui viennent d'être mentionnés, il faut évidemment concevoir la source du signal de référence, constituée dans l'exemple de la fig. 1 par l'oscillateur 9 et le diviseur de fréquence 10, de manière que la période de ce signal de référence soit égale à celle du signal de mesure lorsque le rotor du générateur tourne à sa vitesse de consigne.

Il est encore possible de modifier les moyens qui déterminent la durée des périodes de freinage du rotor du générateur, qui sont constitués dans l'exemple de la fig. 1 par le compteur 15, de manière que cette période dépende directement de l'importance de l'avance de ce rotor par rapport à sa position angulaire théorique. Une telle modification permet de diminuer le temps qui est nécessaire pour que ce rotor retrouve sa position angulaire théorique après qu'il a été soumis à une grande accélération angulaire, due par exemple à un choc violent, qui lui a fait prendre une avance de plusieurs tours par rapport à cette position angulaire théorique.



# Revendication

1. Pièce d'horlogerie comportant:
    - un générateur d'énergie électrique (3) comprenant un rotor (3a) et des moyens (3b) pour fournir ladite énergie électrique en réponse à une rotation dudit rotor (3a); 5
    - une source d'énergie mécanique (2) couplée mécaniquement audit rotor (3a) pour provoquer ladite rotation dudit rotor (3a) à une vitesse supérieure à une vitesse de consigne déterminée; et 10
    - des moyens d'asservissement (7) de la vitesse de rotation dudit rotor (3a) à ladite vitesse de consigne alimentés par ladite énergie électrique et comportant: 15
    - des moyens de mesure (8) couplés audit générateur (3) pour produire une pluralité d'impulsions de mesure, chacune desdites impulsions de mesure étant produite en réponse au passage dudit rotor (3a) par une position angulaire déterminée; 20
    - des moyens de référence (9, 10) pour produire une pluralité d'impulsions de référence périodiques ayant une période égale à celle desdites impulsions de mesure lorsque ledit rotor (3a) tourne à ladite vitesse de consigne; 25
    - des moyens de comparaison (11) pour fournir un signal de comparaison représentatif de la différence entre, d'une part, un premier nombre qui est le nombre desdites impulsions de référence produites depuis un instant initial déterminé et, d'autre part, un deuxième nombre qui est le nombre desdites impulsions de mesure produites depuis ledit instant initial, ledit signal de comparaison ayant un premier et un deuxième état selon que ledit premier nombre est inférieur ou, respectivement, supérieur audit deuxième nombre; et 35
    - des moyens de freinage (16) répondant à un signal de commande pour appliquer audit rotor (3a) un couple de freinage imposant audit rotor (3a) une vitesse de rotation inférieure à ladite vitesse de consigne; caractérisée par le fait que lesdits moyens d'asservissement (7) comportent en outre des moyens de commande (12, 13, 15) répondant à chacune desdites impulsions de mesure lorsque ledit signal de comparaison est dans ledit premier état pour produire ledit signal de commande sous la forme d'une impulsion de commande ayant une durée déterminée. 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65
- 9

